

「連載」高強度・太径鉄筋を用いた配筋設計施工の品質保証 第⑤回

機械式定着工法による接合部設計プログラム

益尾 潔 ●一般社団法人建築構造技術支援機構 代表理事

接合部設計プログラムの現状

現在、機械式定着工法による接合部せん断力の検定計算を取り扱うことができる一貫構造計算プログラムは見当たらない。通常、これらの検定計算は、各定着工法設計指針に基づく EXCEL の表計算によって行われている。しかし、実建物における柱、梁主筋定着部および柱梁接合部は種々の形態を有するので、これらの検定計算を EXCEL の表計算だけで行うのは効率的でなく、また計算対象部位の的確なモデルを用いて検定を行うことが難しい。

以上の課題解消を目的とし、当機構では、技術支援業務として、文献 1)～5)の設計指針(以下、SABTEC 共通設計指針と称する)に適合した検定計算プログラムを一貫構造計算プログラム「BUILD. 一貫IV+」に組み込むプログラム開発を(株)構造ソフトに委託して行うこととした。

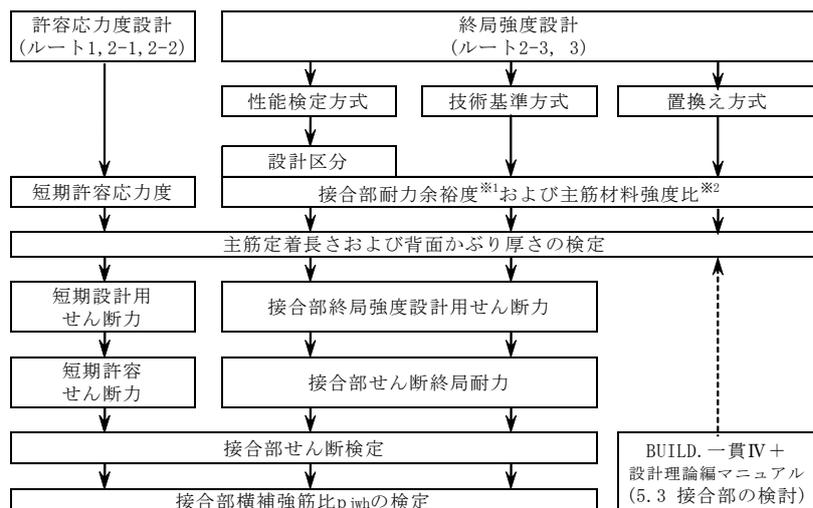
SABTEC 共通設計指針 1 章 総則、2 章 材料は各定着工法の独自技術に関する規定であり、本組込みプログラム対象の 3 章～10 章の基本設計編、11 章～15 章の応用設計編は、各定着工法の共通規定とすることを基本としている。

本組込みプログラムの基本事項

SABTEC 共通設計指針では、柱、梁主筋定着部および柱梁接合部の検定は、図 1 のように、短期許容応力度設計または終局強度設計によることとし、終局強度設計は、性能検定方式、技術基準方式または置換え方式によって行う。性能検定方式では同指針 4 章～8 章の終局強度設計の検定を基本として行い、技術基準方式では同指針 10 章の技術基準解説書⁷⁾に準拠した終局強度設計の検定、置換え方式では、一貫構造計算プログラムによる接合部せん断検定を行うとともに、同指針 8 章によって同柱梁接合部内の柱、梁主筋定着部の検定を行う。

本組込みプログラムの基本事項は、以下の6点である。

- ① 機械式定着工法を採用したト形、T形、L形、十字形接合部ならびに最下階の逆T形、逆L形接合部について、すべての柱、梁主筋定着部の検定を行う。
- ② 柱梁接合部の短期許容せん断力およびせん断終局耐力は、それぞれの柱梁接合部内の柱、梁主筋定着長さを考慮して算定する(図2 参照)。
- ③ 柱梁接合部内の主筋の材料強度は、性能検定方式の場合、靱性保証型指針⁶⁾による上限強度算定用材料強度と



(注)※1 接合部耐力余裕度は、技術基準解説書による接合部応力割増し係数と同じ意味とする。

※2 主筋材料強度比は、柱梁接合部内の主筋の規格降伏点に対する材料強度の比を表す。

性能検定方式の場合、材料強度は、靱性保証型耐震設計指針と同様、上限強度算定用材料強度とする。

図 1 柱、梁主筋定着部および柱梁接合部の検定フロー

し、技術基準方式と置換え方式の場合、告示の材料強度とする。ただし、保有水平耐力およびDs算定時応力は、すべて告示の材料強度を用いて算定する。

- ④ 性能検定方式、技術基準方式ともに、接合部終局強度設計用せん断力は、図3の部分架構モデルを用いて算定するか、または一貫構造計算プログラムによる弾塑性増分解析値(Ds算定時応力)を用いて算定する。
- ⑤ 耐震壁架構内の付帯柱梁接合部のせん断力は検定対象外とする(図4 参照)。
- ⑥ 接合部せん断検定は、以下の点を前提とする。

・T形、L形接合部におけるかざし筋は各工法設計指針7.2節によるものとし、柱、梁主筋の側面かぶり厚さは当該設計の標準配筋図に適合するものとする。

従来の一貫構造計算プログラムでは、折曲げ定着による梁主筋投影定着長さ l_{dh} を $\alpha \cdot D_c$ とし、 α の値は骨組全体で1つだけ与え、柱梁接合部の短期許容せん断力およびせん断終局耐力を算定している。 D_c は柱せいを示す。この場合、各柱梁接合部内の柱、梁主筋定着長さに係わらず、最も不利な柱梁接合部で α の値が決定する。 α の値が0.75を超え0.8に近づくと、柱梁接合部内の柱、梁主筋定着部の配筋が輻輳し、特にD29を超える太径主筋の場合、現場施工が難しくなる。これらの問題解消のために、本組込みプログラムでは、基本事項①、②を定めた。

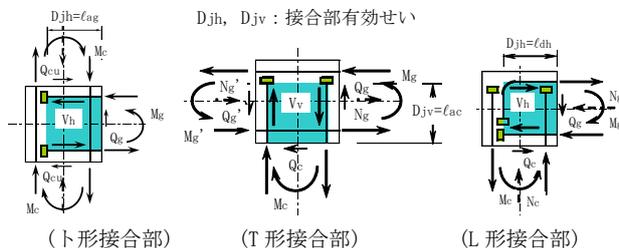


図2 梁主筋定着長さ l_{ag} 、柱主筋定着長さ l_{ac} および梁上端筋投影定着長さ l_{dh}

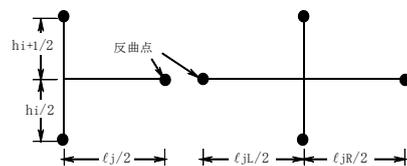


図3 部分架構モデル

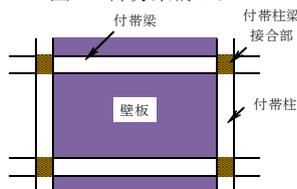


図4 耐震壁架構における付帯柱梁接合部

本組込みプログラムにおける主な検定

(1) 柱、梁主筋定着部の検定

本組込みプログラムでは、SABTEC 共通設計指針 8.1 節(ト形、十字形接合部における梁主筋定着部)、8.2 節(T形、L形接合部における柱主筋定着部)、8.3 節(L形接合部における梁主筋定着部)に準拠し、柱、梁主筋定着部の検定を行う。

梁主筋定着長さ l_{ag} 、柱主筋定着長さ l_{ac} は、下式で決定する(図5 参照)。ただし、L形接合部内の梁上端筋の水平投影定着長さ l_{dh} は式(1)の l_{ag} と読み替える。

$$l_{ag} = \max\{l_{agD}, l_{ago}\} \quad (1)$$

$$l_{ago} = \max\{l_{ao}, X \cdot D_c, n \cdot db\}$$

$$l_{ac} = \max\{l_{acD}, l_{aco}\} \quad (2)$$

$$l_{aco} = \max\{l_{ao}, X \cdot D_g, n \cdot db\}$$

ここに、 l_{agD} 、 l_{acD} ：梁、柱主筋定着長さの設計値(入力値)

l_{ao} ：SABTEC 共通設計指針式(8.1)の必要定着長さただし、 $l_{ao} \leq 25 \text{ db}$ とする。

D_c ：柱せい、 D_g ：梁せい

db ：梁主筋または柱主筋の呼び名の値(直径)

X ：構造規定による柱せいまたは梁せいに対する倍数(表1)

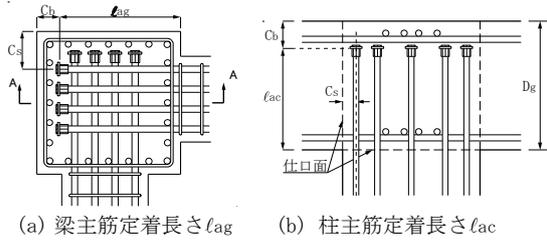
n ：構造規定による主筋の呼び名の値(直径)に対する倍数(表1)

なお、 l_{agD} 、 l_{acD} を入力しない場合、定着長さは、 $l_{ag} = l_{ago}$ 、 $l_{ac} = l_{aco}$ として算定する。また、式(2)中の柱主筋必要定着長さ l_{ao} の算定時には、SABTEC 共通設計指針式(8.1)中の梁上下主筋の重心間距離 j_{tg} は柱両側最外縁主筋の中心間距離 j_{tco} に読み替え、同指針式(8.1)中の係数 S_a は、 $k_5=0.9$ として同指針式(8.2)で算定する。

表1 梁、柱主筋の定着長さ係数 X 、 n の一覧

	梁主筋定着長さ l_{ag}				柱主筋定着長さ l_{ac}
	ト形接合部		L形接合部		L形、T形接合部
	圧縮軸力	引張軸力	上端筋	下端筋	
X	(性能検定)		2/3	3/4	3/4
	(技術基準)		3/4		
n	(共通)		12	15	16
			16	14	16(12)

- 1) L形接合部内の梁上端筋の X と n の値は、水平投影定着長さの値とする。
- 2) 柱主筋定着長さ l_{ac} の n の値(12)は、耐震壁架構の付帯柱梁接合部内の柱主筋定着部に適用する。
- 3) ト形、十字形接合部内の柱主筋定着の場合、T形、L形接合部内の柱主筋に準じ、 $X=3/4$ 、 $n=16$ とする。
- 4) 十字形接合部内の梁主筋定着の場合、ト形接合部内の梁主筋に準じ、 $X=3/4$ 、 $n=12$ とする。
- 5) T形接合部内の梁主筋定着の場合、L形接合部内の梁主筋に準じ、上端筋 $X=3/4$ 、 $n=16$ 、下端筋 $X=3/4$ 、 $n=14$ とする。
- 6) 鉛直段差梁付き十字形接合部の梁主筋定着の場合、 X の値は $3/4$ 、 n の値は12とする。
- 7) 鉛直段差梁付きT形接合部の場合、L形接合部に準じ、梁上端筋の X の値は $3/4$ 、 n の値は16、梁下端筋の X の値は $3/4$ 、 n の値は14とする。
- 8) 鉛直段差梁付きT形、十字形接合部の柱主筋の X と n の値は、L形、T形接合部の場合と同じとする。
- 9) 許容応力度設計による柱、梁主筋の X と n の値は、技術基準方式と同じ値とする。



(a) 梁主筋定着長さ l_{ag} (b) 柱主筋定着長さ l_{ac}
図5 梁、柱主筋の定着長さ

(2) 柱梁接合部せん断力の検定

(a) 検定式

本組込みプログラムでは、SABTEC 共通設計指針 4.3 節(接合部せん断力の設計条件)に準拠し、柱梁接合部せん断力の検定を下式で行う。

(ト形接合部)

$$V_{puh} > \lambda_p \cdot V_{muh} \quad (3)$$

(T形、L形接合部)

$$V_{puh} > \lambda_p \cdot V_{muh}, \text{ かつ } V_{puv} > \lambda_p \cdot V_{muv} \quad (4)$$

ここに、 λ_p : 接合部耐力余裕度

V_{muh}, V_{muv} : 水平方向および鉛直方向の
柱梁接合部の終局強度設計用せん断力

V_{puh}, V_{puv} : 水平方向および鉛直方向の
接合部せん断終局耐力

性能検定方式では $\lambda_p=1.0$ 、技術基準方式では $\lambda_p=1.1$ として検定を行う。すなわち、性能検定方式の場合、表 2 に示すように、設計区分 I、II に応じて設計限界層間変形角 R_{uD} を定め、基本事項①に示すように、靱性保証型指針⁶⁾と同様、上限強度算定用材料強度を用い、接合部せん断破壊防止の設計条件を考慮しているの、 $\lambda_p=1.0$ とし、技術基準方式の場合、技術基準解説書⁷⁾に従い、 $\lambda_p=1.1$ とした。

表 2 設計限界層間変形角 R_{uD} の下限値

接合部の種類	設計区分	
	I	II
ト形、L形、十字形	1/75	1/50
T形	1/100	1/67

(潜在ヒンジ) (降伏ヒンジ)

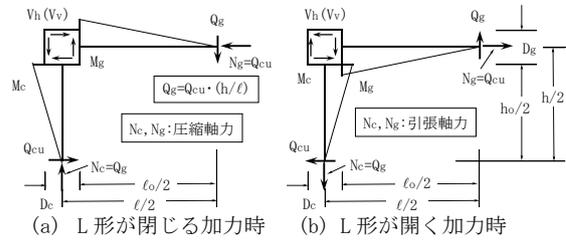
T形、L形接合部のせん断力の検定は、式(4)に示すように、水平方向と鉛直方向について行う。これは、T形、L形接合部における柱主筋定着長さ l_{ac} に起因するせん断破壊を防止するためである。

また、既往実験⁸⁾によると、転倒モーメントによる過大な引張軸力を受ける下層階外柱と接続するト形接合部では、早期にせん断破壊を起こす恐れがある。これらより、SABTEC 共通設計指針では、ト形接合部に接続する柱が引張軸力 N を受ける場合、上下柱ともに、 $|N|$ は $0.75a_g \cdot \sigma_{yo}$ を超えないことを基本としている。本組込みプログラムでは、この点も検定する。 a_g は柱主筋の全断面積、 σ_{yo} は柱主筋の規格降伏点を示す。

(b) 接合部終局強度設計用せん断力の算定

本組込みプログラムでは、基本事項④に示すように、接合部終局強度設計用せん断力は、部分架構モデルを用いて算定するか、または一貫構造計算プログラムによる弾塑性増分解析値 (D_s 算定時応力) を用いて算定する。部分架構モデルは、図 3 に示すように、柱の反曲点位置を階高中央、梁の反曲点位置をスパン中央として切り出した部分架構であり、実験の応力状態と一致する。すなわち、部分架構モデルによる接合部終局強度設計用せん断力は、最大耐力実験値と対応し、実験によって検証されている。

最上階の L 形部分架構モデルの場合、図 6 に示すように、柱、梁は、水平力による変動軸力に伴い、L 形が閉じる加力時に圧縮軸力、L 形が開く加力時に引張軸力を受ける。本組込みプログラムでは、この点を考慮した SABTEC 共通設計指針 5.1 節の算定式によって、式(4)中の接合部終局強度設計用せん断力 V_{muh}, V_{muv} を算定する。



(a) L形が閉じる加力時 (b) L形が開く加力時
図6 L形部分架構の応力状態

弾塑性増分解析値を用いる場合、十字形、ト形接合部の終局強度設計用せん断力 V_{muh} は、靱性保証型指針⁶⁾および技術基準解説書⁷⁾と同様、下式で算定する(図 7 参照)。

(ト形接合部) $V_{muh} = T_g M - Q_c M \quad (5)$

(十字形接合部) $V_{muh} = T_g M + T_g M' - Q_c M \quad (6)$

T形接合部における鉛直方向の終局強度設計用せん断力 V_{puv} は、図 7 のト形接合部に接続する梁を柱に置き換え、下式で算定する。

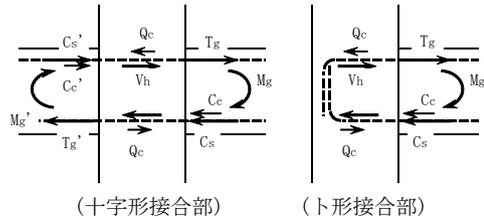
(T形接合部) $V_{puv} = T_c M - Q_c M \quad (7)$

ここに、 $T_g M, T_g M'$: それぞれ左右梁端仕口面(ヒンジ発生位置)でのメカニズム時梁主筋全引張力

$T_c M$: 柱端仕口面(ヒンジ発生位置)でのメカニズム時柱主筋全引張力

$Q_c M$: メカニズム時柱せん断力

$Q_g M$: メカニズム時梁せん断力



(十字形接合部) (ト形接合部)

図7 メカニズム時接合部設計用せん断力

最上階の L 形接合部の場合、技術基準解説書⁷⁾では、終局強度設計用せん断力 V_{muh} は、式(5)中の $Q_c M$ を 0 とするか、

上層の階高 h を 0 として求めた Q_{cM} を用いて算定してもよいとしている。 $Q_{cM}=0$ とすると、 $V_{muh}=T_{gM}$ となるので、 V_{muh} は、後者の Q_{cM} を用いた場合よりも大きくなり、後者の場合、 V_{muh} は過小評価になる。

ただし、柱梁接合部の設計条件は、検定比 V_{puh}/V_{muh} および接合部耐力余裕度 λ_p によって決定するので、 V_{muh} の過小評価は、必ずしも危険側の評価にならない。

(c) 接合部せん断終局耐力の算定

本組込みプログラムでは、SABTEC 共通設計指針 6 章に準拠し、下式によって、水平方向および鉛直方向の接合部せん断終局耐力 V_{puh} 、 V_{puv} を算定する。ただし、ト形および十字形接合部の V_{puv} は算定しない。

$$V_{puh} = \kappa_u \cdot \phi \cdot F_j \cdot b_j \cdot D_{jh}, \quad V_{puv} = \kappa_u \cdot \phi \cdot F_j \cdot b_j \cdot D_{jv} \quad (8)$$

ここに、 κ_u ：柱梁接合部の形状係数

ϕ ：直交梁の有無による補正係数

F_j ：接合部基準せん断強度

b_j ：接合部有効幅

D_{jh} 、 D_{jv} ：水平、鉛直方向の接合部有効せい

式(8)は靱性保証型指針式⁶⁾に準じた算定式であり、 ϕ 、 F_j 、 b_j 、 D_{jh} 、 D_{jv} およびト形、T形、十字形接合部の形状係数 κ_u は、靱性保証型指針式⁶⁾と同様に定められている。

一方、SABTEC 共通設計指針では、性能検定方式の場合、L形接合部の形状係数 κ_u は、実験結果に基づき、L形が閉じる加力時では 0.6、L形が開く加力時では 0.4 としている(図 6 参照)。ただし、弾塑性増分解析では、通常、剛床仮定によるので、水平力時の変動軸力は考慮されない。この場合、L形接合部の形状係数 κ_u は、加力方向に係わらず、0.4 とする。

(3) 接合部横補強筋比の検定

本組込みプログラムでは、性能検定方式の場合、SABTEC 共通設計指針式(7.1)の接合部必要横補強筋比 p_{jwho} を用いて検定を行う。

$$p_{jwho} = \{ (\phi_s \cdot RuD / R80a) - \alpha_{wo} \} \cdot F_c / (\beta_w \cdot \sigma_{wy}) \quad (9)$$

ここに、 ϕ_s ：安全率($\phi_s=2.0$)

RuD ：設計限界層間変形角(表 2)

$R80a$ ：接合部耐力余裕度 λ_p で決まる

限界層間変形角(表 3)

α_{wo} 、 β_w ：表 3 による補正係数

σ_{wy} ：接合部横補強筋の降伏強度

F_c ：コンクリートの設計基準強度

接合部横補強筋の降伏強度 σ_{wy} は、SD295～SD390 では規格降伏点の 1.1 倍、SD490、685N/mm² 級、785N/mm² 級では規格降伏点の 1.0 倍、1275N/mm² 級では 785N/mm² とする。

式(9)は、限界層間変形角実験値を基に定められた保証限界層間変形角 $R80min$ が表 2 の設計限界層間変形角 RuD に安全率 ϕ_s を乗じた値以上となるように導出されている。

表 3 R80a の算定式および補正係数 α_{wo} 、 β_w

	R80a の算定式	α_{wo}			β_w
		直交梁なし	片側直交梁付き	両側直交梁付き	
ト形、十字形接合部	$R80a=0.03\lambda_p$	0.4	0.6	1.0	19
T形接合部	$R80a=0.024\lambda_p$	0.6	0.7	1.2	4.8
L形接合部	$R80a=0.03\lambda_p$	0.6	0.8	1.2	8.9

(注) 上表中の λ_p は、 $\min(\lambda_{ph}, \lambda_{pv})$ とする。

$\lambda_{ph}=V_{puh}/V_{muh}$ 、 $\lambda_{pv}=V_{puv}/V_{muv}$ (式(3)、式(4) 参照)

あとがき

本組込みプログラムは、冒頭で前述したように、機械式定着工法による実務設計で抱える課題解消を目的とし、SABTEC 共通設計指針の主として 3 章～10 章の基本設計編を基に開発されている。読者の皆様方に活用して頂きたい。

ただし、特殊な段差梁付き柱梁接合部など、本組込みプログラムを適用できない場合があるので注意してほしい。これらについては、別途、検討対象の柱、梁主筋定着部および柱梁接合部の構造諸元および応力条件を考慮した EXCEL の表計算などによって検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) JFE 条鋼(株)：DS ネジプレート定着工法設計指針 2012 年 (SABTEC 評価 12-01)、2012 年 5 月 22 日
- 2) (株)伊藤製鐵所：オニプレート定着工法設計指針 2012 年 (SABTEC 評価 12-03)、2012 年 7 月 26 日
- 3) (株)伊藤製鐵所：FRIP 定着工法設計指針 2012 年 (SABTEC 評価 12-04)、2012 年 7 月 26 日
- 4) (株)ディビーエス：DB ヘッド定着工法設計指針 2012 年 (SABTEC 評価 11-03R1)、2012 年 9 月 20 日
- 5) 共英製鋼(株)：タフ定着工法設計指針 2012 年 (SABTEC 評価 12-02)、2012 年 10 月 31 日
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の靱性保証型耐震設計指針・同解説、1999
- 7) 国土交通省住宅局監修：2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書、2007
- 8) 木村秀樹、高津比呂人、ウサレム ハッサン、石川祐次：変動軸力を受けるト型柱梁接合部に関する実験、JCI 年次論文集、Vol. 29, No. 3, pp. 229-234, 2008